

XIX.

Ueber den Zusammenhang zwischen der Convergenz der Augen- axen und dem Accommodationszustande der Augen (sammt Zusatz).

[Wiener akadem. Sitzungsberichte 1854 u. 1855 (Physiologische Studien).]

(Hierzu Fig. 6, 7 u. 8 auf Taf. 12; Fig. 9 u. 10 auf Taf. 13 und Fig. 3 u. 4 auf Taf. 15).

Die Erfahrung lehrt, dass der Accommodationszustand der Augen immer der Entfernung des Durchkreuzungspunktes der Sehaxen entspricht, so, dass eine Veränderung des Convergenzwinkels der Sehaxen auch eine Veränderung des Accommodationszustandes der Augen und umgekehrt zur Folge hat.

Selbst wenn ein Auge geschlossen ist, gilt dieses Gesetz.

Die gegenseitige Abhängigkeit der fraglichen Vorgänge von einander lässt sich mathematisch ausdrücken und in eine Formel bringen. In der Fig. 6 (auf Taf. 12) sei A das linke, B das rechte Auge, c der Drehpunkt des linken, b der des rechten Auges, bc die Entfernung der beiden Drehpunkte von einander; a a' a'' a''' a^* a^{**} Punkte in welchen sich die Sehaxen ab und ac unter demselben Convergenzwinkels α schneiden. Diese Punkte liegen daher mit den Punkten b und c in einer Kreislinie, deren Centrum sich in C befindet.

Der Winkel α ist offenbar durch die drei Seiten der Dreiecke abc , $a'bc$, $a''bc$. . . etc. bestimmt.

Aus den gegebenen drei Seiten eines dieser Dreiecke muss nun α berechnet werden. Die erhaltene Formel hat aber für alle Fälle Geltung, und ist der exacte Ausdruck des oben aufgestellten physiologischen Gesetzes. In dem Dreieck $a'bc$ ist:

$$a'b = a'c \cos \alpha + bc \cos \beta \dots (1)$$

$$a'c = a'b \cos \alpha + bc \cos \gamma \dots (2)$$

$$bc = a'b \cos \beta + a'c \cos \gamma \dots (3)$$

Man multiplicire (1) mit $a'b$, (2) mit $a'c$ und (3) mit $-bc$, so erhält man:

$$a'b^2 = a'ba'c \cos \alpha + a'b \cdot bc \cos \beta$$

$$a'c^2 = a'ba'c \cos \alpha + bc a'c \cos \gamma$$

$$-bc^2 = -a'b bc \cos \beta - a'c bc \cos \gamma. \text{ — Man addire}$$

diese 3 Gleich. $a'b^2 + a'c^2 - bc^2 = 2a'b \cdot a'c \cos \alpha$ und setze da

$$\cos \alpha = 1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

$$\frac{a'b^2 + a'c^2 - bc^2}{2a'b a'c} = 1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

daher

$$\begin{aligned} 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} &= 1 - \frac{a'b^2 + a'c^2 - bc^2}{2a'b \cdot a'c} = \frac{2a'b a'c - (a'c^2 + a'b^2 - bc^2)}{2a'b \cdot a'c} = \\ &= \frac{bc^2 - (a'c - a'b)^2}{2a'b \cdot a'c} = \frac{(bc + a'c - a'b)(bc - a'c + a'b)}{2a'b \cdot a'c} \end{aligned}$$

also

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(bc + a'c - a'b)(bc - a'c + a'b)}{4a'b \cdot a'c}}.$$

Nennen wir $bc = d$, $a'b = r$, $a'c = l$, so erhalten wir

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(d + l - r)(d - l + r)}{4r \cdot l}}.$$

Für den speciellen Fall, wenn der Kreuzungspunkt der Sehaxen in der Medianlinie liegt, so dass $l = r$ ist, lässt sich die Formel sehr vereinfachen, nämlich: $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{d}{l}$.

d bedeutet die Distanz der Drehpunkte der Augen, l und r die Entfernung des Accommodationspunktes für das linke und für das rechte Auge. Dies ist jedoch nicht ganz genau, indem der Abstand des Accommodationspunktes nicht vom Drehpunkte des Auges, sondern von der Fläche der Cornea gerechnet werden muss. Daher ist l eigentlich $= \lambda + 12^{\text{mm}}$, wo λ den Abstand des Accommodationspunktes und die 12^{mm} die Entfernung des Drehpunktes von der Cornea nach LISTING'S Messung bedeuten.

r ist aber $= \rho + 12^{\text{mm}}$. Diese Werthe von r und l sind in der Formel zu substituiren.

Der Verband zwischen einer bestimmten Stellung der Augenaxen und den nach unserer Formel dazu gehörigen Accommodationszuständen der Augen ist sehr innig, doch keineswegs absolut. Schon MÜLLER fand, dass wenn man mit einem Auge nach dem Monde sieht,

und das zweite anfangs geschlossene Auge öffnet, trotz der Accommodation für die Entfernung des Mondes, ein Doppelbild wahrgenommen wird, welches allerdings sehr rasch durch schnelle Correction der Augenstellung in ein Bild zusammenfließt. Ueberdies haben MÜLLER und PLATEAU auch einen geringen Einfluss der Willkür auf die Accommodation, ohne dass die Axen der Augen sich nothwendig dabei verstellen, beobachtet. MÜLLER kommt daher zu dem Schlusse, dass »jene Verbindung (der Accommodation mit der Augenstellung) secundär, aber nicht eines die constante Ursache des anderen sei«. (Vergl. MÜLLER's Handbuch der Physiologie. Coblenz 1840, Bd. II, S. 337).

Durch die späteren Versuche von VOLKMANN, RUETE und DONDERS wurde MÜLLER's Ansicht über das gegenseitige Verhältniss von Accommodation und Augenstellung nicht nur bestätigt, sondern es zeigte sich, dass das geheime Band, welches die beiden Vorgänge verknüpft, noch weit lockerer geschlungen sei, als es ursprünglich den Anschein hatte.

VOLKMANN hat nachgewiesen, dass das Resultat des oben citirten MÜLLER'schen Versuches beim Fixiren des Mondes, nicht nur für grosse Entfernungen der Gegenstände, wie MÜLLER meinte, sondern auch innerhalb der deutlichen Sehweite erzielt werden kann. Wird ein Auge mit der hohlen Hand bedeckt, und fixirt das andere Auge irgend einen Gegenstand, der sich in der deutlichen Sehweite befindet, so tritt derselbe allemal im Doppelbilde auf, wenn man das bedeckte Auge frei macht. Das deutlichste Bild und der Durchkreuzungspunkt der Sehaxen fallen somit nicht immer zusammen.

Hieraus folgert VOLKMANN nicht nur, dass es »zwei verschiedene Bewegungs-Apparate zur Regulirung der Augenstellung und der Accommodation geben müsse«, sondern auch, dass »beide Apparate einer gesonderten Thätigkeit fähig sind. Das Zusammenwirken beider, behufs des deutlichen Sehens, wird, nach VOLKMANN, Sache der Gewöhnung, von der wir nicht füglich ablassen können, so lange die Verhältnisse fortbestehen, unter welchen sie entstanden ist. Sehen wir aber nur mit einem Auge, oder wohl gar durch Kartenlöcher, so ändern sich die Bedingungen, und jede der beiden Thätigkeiten geht ihren eigenen Weg, ohne die andere ins Schlepptau zu nehmen«. (WAGNER's Handwb., Bd. III, Art. »Sehen«, S. 308).

RUETE machte darauf aufmerksam, dass Menschen, deren Augen eine ungleiche Sehweite haben, doch nicht schielen, wenn nicht der sogenannte Consensus der Muskeln durch andere Ursachen gestört ist, was doch, wie RUETE meint, eintreten müsste, wenn die Stellung der

Augen gegen einander mit dem Accommodationszustande in causalem Zusammenhange stünde.

Freilich sind alle Fälle, auf welche RUETE sich bezieht, von sehr geringer Bedeutung zur Feststellung des Verhältnisses zwischen Accommodation und Augenstellung, da sie blos eine abnorme oder künstliche, und nicht eine willkürliche Veränderung des Refractionszustandes des einen Auges betreffen.

Uebrigens bestätigt RUETE auch VOLKMANN'S oben angeführte Versuche, und stellt ferner die Behauptung auf, dass Jemand, der willkürlich mit beiden Augen stark nach innen schielen kann, und dabei ein gutes Accommodationsvermögen besitzt, abwechselnd mit dem einen und mit dem andern Auge bei gleich bleibender Convergenz der Sehaxen ein Buch zu lesen im Stande sei, welches in verschiedener Entfernung vom Kreuzungspunkte der Sehaxen gehalten wird. (Lehrb. der Ophthalmologie 1845, S. 103).

DONDERS endlich hat folgende zwei hierher gehörige Versuche angegeben.

Sieht man mit einem Auge frei, mit dem anderen aber durch die grössere Oeffnung einer konisch sich verjüngenden Papierrolle, nach einem in der deutlichen Sehweite gehaltenen Buche, so findet man, dass die beiden Gesichtaxen nicht auf dieselben Zeilen gerichtet sind, und selbst mit der grössten Mühe nicht auf denselben Buchstaben gerichtet werden können, während doch jedes Auge beharrlich für den Abstand des Buches accommodirt ist und bleibt.

Der zweite DONDERS'sche Versuch giebt zugleich ein Mittel an die Hand, die Grenze der Unabhängigkeit zwischen Augenstellung und Accommodation zu bestimmen und besteht darin, dass man einen Gegenstand bei veränderter Convergenz der Sehaxen durch verschieden starke concave und convexe Brillen fixirt. Da es unter diesen Umständen doch gelingt, das Object deutlich und einfach zu sehen, so muss sich je nach der Beschaffenheit der Brille, der Refractionszustand der Augen unabhängig von der (gleich bleibenden) Convergenz der Augenaxen geändert haben. Die Brennweiten jener convexen und concaven Linsen, bei deren Gebrauch das Vermögen den fixirten Gegenstand deutlich und einfach zu sehen, verloren geht, geben einen Anhaltspunkt zur Bestimmung der Grösse der gegenseitigen Unabhängigkeit der fraglichen Functionen. (DONDERS: *Over het verband tusschen het convergeren der gezichtsassen en den accommodatie-toestand der oogten.* Ned. Lancet 2. Serie, 2. Jaarg. S. 156). —

Im Folgenden erlaube ich mir meine eigenen Untersuchungen über

den vorliegenden Gegenstand, und die Resultate, welche ich mit meinen Augen erhalten habe, mitzutheilen.

Was zunächst die von MÜLLER, VOLKMANN, RUETE und DONDERS gemachten Angaben betrifft, so kann ich deren Ergebnisse nach meinen Erfahrungen fast durchgehends bestätigen. Nur in zwei Punkten bin ich zu abweichenden Resultaten gekommen.

Wenn ich DONDERS recht verstehe, so ist es ihm unter keiner Bedingung gelungen, die beiden Sehaxen durch eine willkürliche Anstrengung der Augenmuskeln auf denselben Buchstaben zu richten, wenn das eine Auge durch eine Papierdüte mit sehr kleiner Oeffnung, das andere Auge frei nach einer Druckschrift sieht.

Hat die Oeffnung der Papierdüte einen mehr als liniengrossen Durchmesser, so dass das Gesichtsfeld nicht gar zu beschränkt ist, so kostet es mich eine nur geringe Anstrengung, die Augenstellung zu corrigiren. Aber selbst dann, wenn die Oeffnung der Düte sehr klein ist, bin ich oft nach mehrmaliger vergeblicher und sehr bedeutender Anstrengung, noch immer im Stande gewesen, die Augenaxen in demselben Punkte zum Durchschneiden zu bringen.

Der Angabe RUETE's, dass man bei starkem Schielen nach innen ein Buch, welches in einer grösseren Entfernung gehalten wird, als der Durchkreuzungspunkt der Sehaxen sich befindet, abwechselnd mit einem und dann mit dem andern Auge, ohne Veränderung der Augenstellung, lesen könne, muss ich für meine Person entschieden widersprechen, obschon ich die von RUETE zu diesem Versuche geforderten Eigenschaften — ein gutes Accommodationsvermögen und die Fertigkeit stark nach innen zu schielen — in hohem Grade besitze. Ja ich glaube sogar behaupten zu dürfen, dass RUETE's Angabe kein besonderes Vertrauen verdient, da RUETE nicht sagt, dass er selbst den Versuch angestellt habe, und da ferner gar keine Erscheinungen angeführt sind, durch welche man sich überzeugen könnte, dass die Personen, welchen RUETE diese Mittheilung verdankt, richtig beobachtet haben, wozu besonders in dieser Sphäre Uebung und Geschick gehören, die eben nicht Jedermanns Sache sind.

Wenn ich ein Buch vor mir aufgeschlagen habe, und nach RUETE's Vorschrift stark nach innen schiele, so dass der Kreuzungspunkt der Sehaxen vor die Buchfläche fällt, und »die Reihen der Lettern doppelt« erscheinen, dann bin ich unter keiner Bedingung im Stande, mit völliger Klarheit die Buchstaben zu sehen; denn erzwingen ich die passende Accommodation, so tritt unabänderlich auch die Correction der Augenstellung für die Entfernung des Objectes ein. Freilich, wenn es sich bei diesem Versuche nur um das Lesen, und

nicht um deutliches Sehen handelte, dann könnte man RUETE'S Angabe schon gelten lassen, indem das Lesen auch bei unvollkommener Accommodation möglich ist. —

Die Doppelreihe von Versuchen, welche ich hier folgen lasse, umfasst alle möglichen Fälle der Trennung, des Zusammenhanges der beiden Functionen, und erschöpft von dieser Seite somit den Gegenstand. Die erste Reihe (*A*) bezieht sich auf die Fälle, ob und in wie weit bei festgehaltener Accommodation die Sehaxen vor oder hinter den Accommodationspunkt zur Durchkreuzung zu bringen sind, während die zweite Reihe (*B*) die Fälle behandelt, wo bei unverrückter Augenstellung der Accommodationspunkt vor oder hinter den Durchkreuzungspunkt der Sehaxen fallen soll.

Ich habe die Augen unter keine künstlichen Bedingungen gebracht, wie z. B. DONDERS, sondern alle Resultate durch blosse willkürliche Anstrengung erzielt.

A. 1. Halte ich ein aufgeschlagenes Buch in der deutlichen Sehweite vor mich hin, so gelingt es mir, durch eine willkürliche Anstrengung der Augenmuskeln, den Durchkreuzungspunkt der Sehaxen in verschiedene Entfernung hinter die Buchfläche fallen zu lassen, während doch beide Augen für den Abstand des Buches accommodirt bleiben. Bei myopischen Individuen findet dieses Verhältniss der Accommodation zur Augenstellung immer Statt, wenn sie entfernte Objecte fixiren. Dabei erscheint die Druckschrift natürlich im Doppelbilde. Je weiter hinter das Buch der Kreuzungspunkt der Sehaxen fällt, desto weiter treten auch die Doppelbilder auseinander.

Der Abstand der Doppelbilder ist gleich dem Abstände der beiden Punkte, wo die Sehaxen die Buchfläche schneiden, und zeigt also an, um wie viel das eine Auge nach aussen gedreht worden sei, wenn das andere unverrückt geblieben ist.

Die Fig. 7 auf Taf. 12 erläutert den ganzen Vorgang. Es sei *AC* die Buchfläche, *L* das linke, *R* das rechte Auge; *m* ein Buchstabe, welcher zuerst von beiden Augen fixirt wird, und daher einfach und deutlich erscheint.

Wird nun das Auge *R* nach aussen gedreht, so dass die Verlängerung seiner Axe den Punkt *n* trifft, während das Auge *L* seine Stellung beibehält, so ist dann *o* der Durchkreuzungspunkt der Sehaxen, und α' der Convergenzwinkel, welcher kleiner ist, als der frühere Winkel α .

Der Buchstabe *m* muss nun im Doppelbilde erscheinen, und zwar steht *m'*, das zweite Bild von *m*, eben so weit von *m* auf der linken Seite ab, als der Punkt *n* von *m* auf der rechten Seite entfernt ist, in-

dem m und n an demselben Punkte im Raume gesehen werden, weil ihre Bilder auf identische Stellen der Netzhaut, die gelben Flecke, fallen. Die Bilder, welche das rechte und das linke Auge von der Druckschrift vermitteln, erscheinen über einander verschoben. Das rechte Auge vermittelt das linke, das linke Auge das rechte der Doppelbilder. Die punktirte Linie $A'C'$ zeigt die Stellung des dem rechten Auge entsprechenden Doppelbildes in Beziehung auf das dem linken Auge entsprechende Bild AC . Da die Augen trotz der Verstellung der Augenaxen beharrlich für die Entfernung der Buchfläche accommodirt bleiben, so haben diese Doppelbilder das Eigenthümliche, dass immer eines derselben scharf und deutlich gesehen werden kann. Wo sonst beim Binocularsehen Doppelbilder zu entstehen pflegen, dort fallen sie meist beide in das indirecte Sehfeld, und entstehen immer unter ungünstigen Accommodationsverhältnissen, können daher auch nie scharf und deutlich erscheinen.

Je nachdem man die Aufmerksamkeit in dem einen oder in dem anderen Auge concentrirt, kann man den Wettstreit der Sehfelder, der unter den Bedingungen des Versuches nothwendig eintreten muss, zu Gunsten dieses oder jenes Auges entscheiden, und bald mit dem rechten, bald mit dem linken Auge mit aller Deutlichkeit die Buchstaben sehen und lesen. Beiläufig will ich bemerken, dass sich die Pupille merklich verkleinert, wenn man die Augenaxen wieder unter dem alten und legitimen Convergenzwinkel α sich kreuzen lässt.

Ich bin, während des Anstellens des aus einander gesetzten Versuches, im Stande, die Doppelbilder nach Belieben mehr auseinander treten zu lassen, und dann wieder zu einem Bilde zu verschmelzen. Es giebt jedoch für meine Willkür einen grössten Abstand der Doppelbilder, den ich trotz aller Anstrengung nicht überschreiten kann — dann ist die Grenze der Unabhängigkeit der Augenstellung von dem betreffenden Accommodationszustande erreicht. Für verschiedene Accommodationszustände sind die Grenzen der Unabhängigkeit nicht dieselben.

Stelle ich den mitgetheilten Versuch mit einem mehrere Fuss weit entfernten Objecte, oder mit noch entfernteren Gegenständen an, z. B. mit dem Fenster eines auf der entgegengesetzten Seite der Strasse liegenden Hauses, mit einem Kirchthurm und dergl., so kann ich die Doppelbilder weit mehr aus einander treten lassen, als wenn ich den Versuch mit einem nur wenige Zoll entfernten Gegenstande vornehme.

Unter solchen Umständen bringe ich die Augenaxen zum Parallelismus, ja selbst zur Divergenz.

Die Augenaxen schneiden sich dann hinter meinem Kopfe. Ich

liefere hiermit den Beweis, dass man die Augenaxen willkürlich divergiren lassen kann.

Um keinen Zweifel über die Richtigkeit dieser Behauptung zu lassen, habe ich Fig. 8 (Taf. 12) entworfen, wo AC den fixirten, mehrere Fuss breiten und an 100 Schritte entfernten Gegenstand bedeutet. L ist das linke, R das rechte Auge. Beide Augen fixiren zuerst den Punkt C . Ich bin nun im Stande die Augen so zu stellen, dass AC im Doppelbilde erscheint und zwar so, dass das Bild, welches vom linken Auge stammt, rechts neben das Bild des rechten Auges zu stehen kommt und die Punkte A' und C sich decken. Die Stellung dieses Bildes entspricht also der Linie $A'C'$. Dieses Verhalten erklärt sich einfach aus dem Umstande, dass das linke Auge um den Winkel β nach aussen gedreht, mit seiner optischen Axe den Punkt A des Objectes traf. Nun verlängere man die Linien Ac und Cb bis sie sich schneiden, so findet man o als den hinter den Augen gelegenen Durchkreuzungspunkt der Augenaxen. α' ist der Divergenz- oder der negative Convergenzwinkel der Schaxen.

Bei genauerer Betrachtung der Fig. 7 und Fig. 8 erkennt man leicht, wie man durch eine sehr einfache Construction oder durch eine eben so einfache Rechnung das jeweilige Verhältniss zwischen dem Refraktionszustande der Augen und dem Convergenzwinkel der Schaxen ganz genau bestimmen kann.

Kennt man die Entfernung bc der Drehpunkte der Augen von einander¹⁾, ferner den Abstand der Augen von dem Gegenstande und endlich die Entfernung der Doppelbilder von einander, so kann man nach dem in Fig. 7 und Fig. 8 gegebenen Schema für jeden speciellen Fall eine genaue Zeichnung entwerfen und die Grösse der Trennung des legitimen Zusammenhanges zwischen Accommodation und Augenstellung angeben.

Statt der umständlichen Construction lässt sich folgende einfache Berechnung anstellen. Für den in Fig. 7 dargestellten Fall verhält sich

¹ Die Bestimmung des Abstandes der Drehpunkte der Augen von einander geschieht nach LISTING folgendermaassen: Man fixirt einen sehr entfernten Gegenstand, z. B. eine entfernte Kirchthurmspitze, einen Blitzableiter u. dgl. und bringt knapp vor jedem Auge ein durchlöcherter Kartenblatt an. Hat man die Löchelehen für jedes Auge genau centrirt, so braucht man nur die Entfernung der Löchelehen von einander zu messen, und hat dann mit hinreichender Genauigkeit die gesuchte Distanz. LISTING hat sich zu diesen Messungen einen eigenen Apparat construiren lassen, an welchem die Verschiebung zweier fein durchlöcherter Metallplatten mittelst einer Mikrometerschraube geschieht und durch einen Nonius sehr genau abgelesen wird.

$$m o : m o + m c = m n : b c \text{ und } n o : n o + n b = m n : b c.$$

Es ist also :

$$m o = \frac{m c \cdot m n}{b c - m n}, \quad n o = \frac{n b \cdot m n}{b c - m n}.$$

Da man somit alle drei Seiten der Dreiecke mon und cob kennt, so lässt sich nach der Eingangs gegebenen Formel der Winkel α' leicht finden.

Für den zweiten Fall (Fig. 8), lässt sich dasselbe Verfahren anwenden, nur verhält sich dann

$$o b : o b + b c = c b : A C \text{ und } o c : o c + c A = c b : A C.$$

Ist der grösste Abstand der Doppelbilder, welchen ein Beobachter für einen bestimmten Accommodationszustand zu erzwingen im Stande ist, der Construction oder Berechnung zu Grunde gelegt, so gibt das gefundene Verhältniss von α' zu der Entfernung des Accommodationspunktes die individuelle Grenze der Unabhängigkeit der Augenstellung von dem Accommodationszustande der Augen.

Ich erreiche hiermit auf einem viel einfacheren Wege eben so viel, als DONDERS durch seine oben mitgetheilte Methode. Ich vermute, dass man nach DONDERS' Methode grössere Grenzwerte erhalten wird, als nach der meinigen, weil die künstlichen Bedingungen, unter welche DONDERS die Augen bringt, die gesonderte Thätigkeit der beiden Functionen unterstützen, während bei meinem Versuche die blosse willkürliche Anstrengung der Augenmuskeln die Tendenz zur Correction der Augenstellung überwinden muss.

Uebrigens bezieht sich die DONDERS'sche Messungsmethode eigentlich auf die weiter unten unter $B 1$ und 2 beschriebenen Fälle der Trennung des behandelten functionellen Zusammenhanges. —

Es wird nicht Jedermann sogleich gelingen, den Durchkreuzungspunkt der Sehaxen hinter den Gegenstand fallen zu lassen, für dessen Entfernung der Refractionszustand der Augen eingerichtet ist. Nur durch anhaltende und anstrengende Uebungen erlangt man die Fertigkeit durch den Gegenstand gleichsam hindurchzusehen — ohne zugleich den Accommodationszustand zu ändern. Am leichtesten erreicht man den Zweck, wenn man ein Auge abwechselnd schliesst und öffnet, denn beim Oeffnen des geschlossenen Auges erscheint, wie schon vor VOLKMANN's Angaben bekannt war, der fixirte Gegenstand im Doppelbilde; und zwar sieht das eben geöffnete Auge den Gegenstand auf der entgegengesetzten Seite des Bildes, welches das andere offene Auge erzeugt, und zugleich etwas tiefer. Während des Schliessens und Oeffnens hat also das Auge seine Stellung in verticaler und horizontaler Richtung verändert. Die Verschiebung in verticaler

Richtung corrigirt sich beim Oeffnen des Auges fast augenblicklich. Das Auseinandertreten der Bilder in horizontaler Richtung hingegen kann man nach manchen vergeblichen Versuchen nicht nur beliebig lange festhalten, sondern auch bis zu dem Maximum steigern lernen, welches unmittelbar nach dem Oeffnen des geschlossenen Auges auftritt. Je weiter der Gegenstand entfernt ist, desto mühsamer und anstrengender wird der Versuch und gelingt mir nicht mehr ohne die Beihülfe des Schliessens und Oeffnens eines Auges. Ich habe auch bemerkt, dass die Augenmuskeln nach lange fortgesetztem Experimentiren leicht so ermüden, dass die schon oft gelungenen Versuche durchaus nicht gelingen wollen.

Das Wachsen der Schwierigkeit des Versuches mit der Zunahme der Entfernung des Gegenstandes kann nicht befremden: denn man muss bedenken, dass die Augenaxen schon den Parallelismus erreicht haben, wenn der Abstand der Doppelbilder gleich ist dem Abstände der Drehpunkte der Augen, und bereits zu divergiren beginnen, wenn der Abstand der Doppelbilder noch um ein Minimum grösser wird.

Für entferntere Gegenstände ist der Abstand der Doppelbilder aber sehr bald gleich, ja grösser als der Abstand der Drehpunkte. Dass man unter diesen Umständen beim Versuch mit entfernteren Gegenständen die Augenmuskeln mehr anstrengen muss, als wenn die Objecte näher liegen, ist wohl begreiflich, wenn man im ersteren Fall Objecte von ungleich grösserer Breite als im zweiten Falle, in dem gleichen relativen Maasse zu Doppelbildern auseinandertreten lassen will.

Ich rathe aus diesem Grunde Jenen, welche sich von der Richtigkeit meiner Angabe über das willkürliche Divergirenlassen der Augenaxen durch Autopsie überzeugen wollen, Gegenstände zum Versuch zu wählen, welche nur einige Fuss weit entfernt sind. Es wird Ihnen hier leichter gelingen, den Durchkreuzungspunkt hinter den Accommodationspunkt aus freien Stücken fallen zu machen, als bei entfernteren Objecten. Hat man nur erst ein Doppelbild zu Stande gebracht, dann erfolgt das weitere Auseinandertreten desselben mit Leichtigkeit, wenn man der nun eintretenden auf eigenthümliche Art sich fühlbar machenden Bewegungs-Tendenz der Augen nicht hemmend entgegenwirkt, sondern dieselbe durch willkürliche Anstrengung befördert.

A 2. Bei unveränderter Accommodation für die Entfernung des Gegenstandes wollte es mir durchaus nicht gelingen, den Durchkreuzungspunkt der Sehaxen vor den Gegenstand fallen zu lassen. Presbyopische Individuen befinden sich hingegen durch die Mangel-

haftigkeit ihres Accommodationsvermögens stets in diesem Falle, wenn sie nahe Gegenstände fixiren. Sobald ich den Convergenzwinkel der Sehaxen durch willkürliche Drehung der Augen nach innen vergrösserte, trat auch stets die entsprechende Veränderung des Accommodationszustandes ein. (Vgl. das zu RÜETE'S Behauptung Bemerkte, so wie das weiter unten unter *B 2* Gesagte.)

B 1. Ich komme nun zu dem zweiten Paar von Versuchen, welche sich von den unter *A* mitgetheilten Experimenten, wie bereits erwähnt, dadurch unterscheiden, dass es sich hier darum handelt zu zeigen, ob und in wie weit, bei beharrlich festgehaltener Augenstellung der Accommodationszustand willkürlich geändert werden könne, während dort gezeigt wurde, in wie weit bei festgehaltenem Accommodationszustande der Convergenzwinkel der Sehaxen willkürlich vergrössert oder verkleinert werden kann.

Spannt man einen dünnen Faden senkrecht zur Gesichtsfäche und in der Medianlinie auf, so wird er, wenn man einen beliebigen Punkt desselben mit beiden Augen fixirt, bis auf eben diesen Punkt doppelt gesehen werden. Fixirt man die Mitte des Fadens, so erscheinen zwei Fäden, die sich in der Mitte durchkreuzen, und von denen der eine, dessen dem Auge zugekehrtes Ende vor dem Durchkreuzungspunkte links liegt, dem rechten; der andere, dessen dem Auge zugekehrtes Ende vor dem Durchkreuzungspunkte rechts liegt, dem linken Auge gehört. Zugleich wird man bemerken, dass jeder dieser Fäden nur eine kurze Strecke in der Mitte klar und deutlich gesehen wird, während die Deutlichkeit gegen das dem Auge zu- und abgewendete Ende immer mehr abnimmt, und einer nebelhaften Verbreitung des Fadens Platz macht. Jeder Faden erscheint in Form einer Accommodationslinie i. w. S. (vgl. Nr. XVII). Die Accommodationspunkte derselben fallen mit dem Durchkreuzungspunkte der Fäden und daher auch der Sehaxen zusammen, wie in Fig. 9 (Taf. 13) dargestellt ist.

Wenn man den Blick auf dem Faden hin und her schweifen lässt, so rücken in demselben Maasse der Durchkreuzungspunkt der Doppelbilder und die dünnen deutlich gesehenen Stellen des Fadens hin und her — in Folge des gesetzmässigen Zusammenhanges zwischen der Augenstellung und dem Accommodationszustande.

Es gelingt jedoch bei beharrlich festgehaltener Augenstellung für einen nähern Punkt als den Durchkreuzungspunkt der Sehaxen zu accommodiren.

Der Durchkreuzungspunkt der Doppelbilder bleibt dann unverrückt, während die beiden deutlichen, den Accommodationslinien im

engeren Sinne entsprechenden Stellen der Fäden den Augen sich nähern. (Siehe Fig. 10 auf Taf. 13).

Der Durchkreuzungspunkt der Doppelbilder liegt dann jenseits der deutlichen Stelle des Fadens.

Das Resultat dieses Versuches stimmt ganz mit dem des unter A 1 beschriebenen Versuches überein — nur mit dem Unterschiede, dass das gesetzwidrige Verhältniss des Accommodationszustandes zur Augenstellung dort durch willkürliche Aenderung der Augenstellung, hier durch Aenderung des Accommodationszustandes erzwungen wurde.

Schon PLATEAU und MÜLLER theilten nach Beobachtungen an sich mit, dass sie durch eine Abänderung des Refractionszustandes das Undeutlichwerden der Gegenstände ohne Veränderung der Stellung der Augen, also ohne Erzeugung von Doppelbildern hervorbringen könnten. MÜLLER glaubte zwar anfangs, dass dennoch Doppelbilder, welche sich zum Theile decken und desshalb der Wahrnehmung entgehen, vorhanden sein dürften, kam aber später von dieser Ansicht mit Recht zurück. Mein oben angeführter Versuch mit dem Faden gibt hierüber die vollste Gewissheit, indem bei der unbedeutendsten Verstellung der Augen der Durchkreuzungspunkt der beiden Bilder des Fadens verschoben wird, entweder dem Auge näher rückt, oder von dem Auge sich entfernt. Nun liess sich aber bei gelungenen Versuchen keine Spur einer solchen Verrückung des Durchkreuzungspunktes beobachten, also muss in diesen Fällen die Convergenz der Schaxen unverändert geblieben sein, und konnte nicht an eine Entstehung von Doppelbildern gedacht werden, welche etwa zur Erklärung des Undeutlichwerdens der Gegenstände zu benützen gewesen wären.

Auch diesen Versuch kann man, wie den unter A 1 beschriebenen zur Bestimmung der Grösse der Trennung des Zusammenhanges zwischen Augenstellung und Accommodation benützen.

Man braucht nur den Abstand zwischen dem Durchkreuzungspunkt der beiden Bilder des Fadens und den Accommodationspunkten mit dem Zirkel direct zu messen. Diese Messung auszuführen, ist jedoch aus doppeltem Grunde schwierig, indem erstlich der Accommodationspunkt in der Accommodationslinie i. e. S. nicht markirt ist, und weil zweitens überdies jene Punkte des Fadens, für welche das Auge accommodirt ist, indirect gesehen werden. Die gesuchte Distanz kann also nur geschätzt, nicht eigentlich gemessen werden.

Jene Stelle des Fadens, für welche die Augen accommodirt sind, erscheint im Doppelbilde, während für den einfach gesehenen Durchkreuzungspunkt nicht accommodirt ist, und derselbe daher in einem

zerstreuten Bilde erscheint. Dies ist ein bemerkenswerther Beitrag zur Lehre von den Doppelbildern, welche beim Sehen mit zwei Augen entstehen.

B 2. Bei unverrückter Convergenz der Sehaxen, für einen jenseits des Durchkreuzungspunktes gelegenen Punkt des Fadens zu accommodiren, bin ich durchaus nicht im Stande.

Dies Resultat entspricht ganz der unter *A 2* gemachten Mittheilung, dass ich aus freien Stücken den Durchkreuzungspunkt der Sehaxen nicht vor den Accommodationspunkt fallen lassen kann.

Sobald ich für ferner gelegene Punkte accommodire, stellt sich auch unabänderlich der entsprechende gesetzmässige Convergenzwinkel der Augenaxen her.

Obschon für mich unter gewissen künstlichen Bedingungen der Punkt, für welchen die Augen accommodirt sind, jenseits des Durchkreuzungspunktes der Sehaxen liegen kann, so ist doch die Trennung des Zusammenhanges der Accommodation mit der Augenstellung, in dieser Richtung meiner Willkür ganz entzogen.

Solche künstliche Bedingungen liefert der oben citirte DONDERS'sche Versuch mit convexen Brillen. Die Sehaxen behalten beim Versuche dieselbe Neigung gegen einander, aber der Refractionszustand der Augen ändert sich in der Weise, dass er für einen entfernteren Punkt als den Durchkreuzungspunkt der Sehaxen passt, indem die die Brennweite des Auges verkürzende Wirkung der convexen Brillen durch die Accommodation für die Ferne compensirt werden muss.

Dies Verhalten scheint mir von Wichtigkeit, da sich hieraus zweierlei folgern lässt: Erstens, dass beim DONDERS'schen Versuche gewisse Bedingungen obwalten, welche diese Trennung des Zusammenhanges derart begünstigen, dass ohne dieselben der Zusammenhang in der angegebenen Richtung durch blosse Willkür, wie es scheint, gar nicht gelöst werden kann; und zweitens, dass der Verband zwischen Accommodation und Augenstellung in verschiedenen Richtungen, in verschiedenen Graden fest und innig ist.

Ich weiss nicht ob die mitgetheilten Beobachtungen aus einer individuellen Beschaffenheit meiner Sehorgane zu erklären sind, oder ob sie sich auf ein allgemein gültiges physiologisches Gesetz beziehen, und ob ich nicht selbst, durch anhaltend fortgesetzte Uebungen, die Trennung des Zusammenhanges der beiden Functionen auch in dieser Richtung am Ende doch noch in meine Willkür bekommen könnte; allein so viel steht für mich unter allen Umständen fest, dass der Verband zwischen beiden Functionen in der unter *A 2*

und B_2 behandelten Beziehung inniger und fester ist, als in jeder anderen.

Am Eingange dieses Paragraphes habe ich als ein empirisch gefundenes physiologisches Gesetz, den Satz aufgestellt, dass der »Accommodationszustand der Augen immer der Entfernung des Durchkreuzungspunktes der Sehaxen entspricht, so dass eine Veränderung des Convergenzwinkels der Augenaxen auch eine Veränderung des Accommodationszustandes der Augen und umgekehrt zur Folge hat.«

Ueber die Richtigkeit dieses Satzes kann kein Zweifel sein, denn nur unter den in ihm enthaltenen Bedingungen ist ein deutliches Sehen mit beiden Augen möglich, allein die Vollständigkeit der Entwicklung des aufgestellten Gesetzes fordert noch die Erläuterung einer Consequenz, welche in der Formulirung des Gesetzes nicht ausdrücklich aufgenommen ist.

Unterwirft man Fig. 6 (Taf. 12) einer aufmerksamen Betrachtung, so wird man finden, dass, da der Accommodationszustand der Augen immer der Entfernung des Durchkreuzungspunktes der Sehaxen entspricht, der Accommodationszustand der Augen sich ändern kann, ohne dass der Convergenzwinkel der Augenaxen verändert wird.

Dies scheint mit obigem Gesetze im Widerspruche zu stehen, genauer genommen ist es jedoch eine nothwendige Consequenz aus demselben. Die in einem MÜLLER'schen Horopter gelegenen Punkte liegen in verschiedener Entfernung von den Augen, verlangen aber den gleichen Convergenzwinkel der Sehaxen, um einfach gesehen zu werden, weil sie in der Peripherie eines Kreises liegen, welche die Drehpunkte der beiden Augen gleichfalls enthält und weil die derselben Sehne entsprechenden Peripheriewinkel unter sich gleich sind.

Da die im Horopterkreise liegenden Punkte die Durchkreuzungspunkte der Sehaxen sind, jedes Auge aber für die Entfernung dieses Durchkreuzungspunktes accommodirt ist, und da ferner bis auf einen Punkt (a in Fig. 6) alle übrigen dem einen Auge näher stehen als dem anderen, so folgt daraus, dass der Accommodationszustand des rechten Auges nur dann mit dem des linken Auges übereinstimmt; wenn die Augen den in der Medianlinie gelegenen Punkt (a in Fig. 6) fixiren, während in allen übrigen Fällen die beiden Accommodationszustände nach einem bestimmten Verhältnisse differiren.

Lässt man beide Augen sämmtliche rechts von der Medianlinie gelegenen Punkte des Horopters in ihrer stetigen Folge fixiren, so

rückt der Accommodationspunkt des linken Auges immer weiter ab, während der des rechten Auges sich immer mehr nähert, indem sich für das linke Auge die Entfernung der Punkte immer mehr vergrössert und dann ihr Maximum erreicht, wenn die Sehaxe durch den Mittelpunkt *C* des Horopters geht. Nachdem die Entfernung des Accommodationspunktes ihr Maximum erreicht hat, wird sie wieder kleiner, allein der Accommodationspunkt steht dem rechten Auge, dem die Punkte des Horopters von Anfang an näher gerückt sind, stets näher, als dem linken Auge. Für die linke Hälfte des Horopters gilt dasselbe wie von der rechten, natürlich *mutatis mutandis*.

Je kleiner der Durchmesser des Horopters ist, desto bemerklicher erscheinen die Differenzen zwischen den Accommodationszuständen der Augen, da sich aus Nr. XVII ergeben hat, dass die Accommodationslinien i. e. S. für kleinere Entfernungen immer kürzer ausfallen und daher Differenzen hervortreten lassen, welche für grössere Entfernungen spurlos verschwinden würden.

Die erforderliche Differenz der Accommodationszustände beider Augen kann so bedeutend werden, dass es den Augen unmöglich wird, dieselben festzuhalten, z. B., wenn man dem einen Auge einen Gegenstand so sehr nähert, dass das andere denselben, knapp am Nasenrücken vorbeisehend, eben noch wahrnehmen kann. Mit grosser Anstrengung wird man unter diesen Umständen die Entstehung eines Doppelbildes verhindern können. Erzwingt man ein einfaches Bild, dann kann man durch abwechselndes Schliessen und Oeffnen der Augen sich überzeugen, dass nicht mehr beide Augen für den fixirten Gegenstand accommodirt sind.

Aus dem eben Mitgetheilten ergibt sich, dass es ganz normale Verhältnisse gibt, wo für einen bestimmten Convergenzwinkel das eine Auge für einen entfernteren, das andere für einen näher gelegenen Punkt accommodirt ist, als wenn die Augen unter demselben Winkel in einem in der Medianlinie gelegenen Punkt convergiren und einen gleichen Refraktionszustand angenommen haben, und ferner, dass der Verband der beiden Functionen gewisse natürliche Grenzen hat, ähnlich wie die Beweglichkeit der Gelenke in gewissen Richtungen limitirt ist. Demnach müssen wir die Formulirung des behandelten physiologischen Gesetzes etwa folgendermassen ändern, um allen Verhältnissen Rechnung zu tragen.

Wo ein deutliches Sehen mit beiden Augen möglich ist, entsprechen die Refraktionszustände der Augen immer der relativen Entfernung des Durchkreuzungspunktes der Sehaxen, so zwar, dass jede Veränderung

der Augenstellung eine entsprechende Veränderung der Refraktionszustände der Augen, und umgekehrt, zur Folge hat.

Schliesslich erlaube ich mir noch einige Gedanken über das Wesen dieses Zusammenhanges mitzuthemen.

VOLKMANN bezeichnet den Verband zwischen Accommodation und Augenstellung schlechthin als »Sache der Gewöhnung«. Mir scheint jedoch diese Erklärungsweise nicht auszureichen, obschon sie ohne Zweifel ein berechtigtes Moment enthält. Ich glaube, dass die Bewegungscetra für die verknüpften Thätigkeiten in einem solchen organischen Verhältnisse und Zusammenhange gedacht werden müssen, dass sich der Reiz, welchen der Wille auf das eine derselben ausübt, nothwendig auch auf das andere überträgt und daselbst ein bestimmtes Quantum Bewegung auslöst.

Der Beweis für diese Art der Verkettung liegt, wie mir scheint, darin, dass selbst das verdeckte Auge seine Stellung um ein Bestimmtes ändert, wenn das offene einen anderen Accommodationszustand annimmt (vgl. MÜLLER a. a. O. S. 336). Zu bemerken ist jedoch dabei, dass, wenn das geschlossene oder verdeckte Auge auch in Folge der Veränderung des Refraktionszustandes des offenen seine Stellung nothwendig ändert, diese Aenderung doch niemals eine genaue Einstellung desselben auf jenen Gegenstand, welchen das offene Auge fixirt, nach sich zieht, indem, wie oben gezeigt wurde, beim Oeffnen des geschlossenen Auges Doppelbilder wahrgenommen werden. Die genaue Correction der Augenstellung erfolgt erst dann, wenn beide Augen offen sind — und zwar rasch und unwillkürlich. Ermöglicht und geleitet wird die Correction durch die Doppelbilder, indem dieselben in dem Maasse sich decken, als die Stellung der Augen verbessert wird; sie sind daher der Leitstern der corrigirenden Thätigkeit. Es ist hiermit etwa so wie mit den zweckmässigen Bewegungen, welche wir unbewusst zur Erhaltung des Gleichgewichtes ausführen, wobei uns gewisse durch den Verlust des Gleichgewichtes gesetzte Empfindungen leiten.

Wie mächtig diese instinctive Correction, welche in Folge des Bestrebens einfach und deutlich zu sehen, und in Folge der Gewöhnung eintritt, sei, ersieht man aus den Versuchen mit Brillengläsern, welche DONDERS angegeben hat. (Siehe oben S. 246). Ich habe schon früher darauf hingewiesen, dass diese Versuche Bedingungen setzen müssen, unter welchen die Trennung des legitimen und gewohnten Zusammenhanges zwischen Accommodation und Augenstellung leichter möglich ist und selbst in jener Richtung, in wel-

cher die Trennung aus freien Stücken, mir zum wenigsten, niemals gelingen wollte.

Hier, glaube ich, hat man den Schlüssel zu diesem Räthsel. Beim DONDERS'schen Versuche sieht man eben mit beiden Augen und würde doppelt und undeutlich sehen, wenn sich die Augen den, von der Norm etwas abweichenden Bedingungen des Versuches nicht fügen wollten. Es macht sich hier die Tendenz einfach und klar zu sehen geltend, und erzwingt, selbst gegen die bisherige Gewohnheit, die geforderte ungewöhnliche Combination von Augenstellung und Accommodation.

Stellt man den DONDERS'schen Versuch an, so befindet man sich ganz in der Lage eines Kindes, das eben erst sehen lernt; nur dass das Kind noch keinen alten Verbindungen zwischen den Thätigkeiten entgegenzuwirken hat, wie wir. Dass die gesetzmässige Verkettung der beiden Functionen auf die oben angedeutete Art zu Stande kommt, und durch Gewöhnung befestigt wird, unterliegt wohl kaum einem Zweifel, dennoch bin ich aber der Meinung, dass der fragliche Zusammenhang überdies eine organische Grundlage haben dürfte. Schon oben setzte ich einen materiellen Zusammenhang der Bewegungscentra der beiden Functionen voraus, um die Mitbewegungen des geschlossenen Auges begreiflich zu machen. Hier glaube ich diese Voraussetzung noch durch die Hinweisung auf die verschiedene Festigkeit des Verbandes in verschiedenen Richtungen und auf die bestimmten individuellen Grenzen, welchen man, beim Versuche den gesetzmässigen Zusammenhang zwischen Accommodation und Augenstellung willkürlich zu stören, — und selbst beim DONDERS'schen Versuche — begegnet, stützen zu können; man müsste denn diese individuellen Grenzen und den verschiedenen Grad des Zusammenhanges in verschiedenen Richtungen, schlechthin für das Resultat der Gewöhnung erklären wollen. Wogegen man aber einwenden könnte, dass sich die Gewöhnung offenbar nur auf ein bestimmtes Verhältniss von Accommodation und Augenstellung, und nicht auf Grenzen der Trennung dieses Zusammenhanges beziehen kann.

Abgesehen davon, könnte man weiter fragen, wie soll, vorausgesetzt der Zusammenhang beruhte auch noch auf einer materiellen Beziehung der Bewegungscentra, wie soll die durch die oben mitgetheilten Versuche bewiesene willkürliche Trennung des Zusammenhanges möglich sein? Ganz auf dieselbe Weise wie es möglich ist, dass ein Kind, das anfangs alle Finger zu gleicher Zeit beugt und streckt, nach und nach die einzelnen Finger isolirt bewegen lernt, und in seine Gewalt bekommt.

Zusatz.

Ich habe seit der Veröffentlichung der I. Abtheilung dieser »Studien« auch einige neue in diese Abhandlung gehörige Versuche und Beobachtungen gemacht, welche ich hier nachzutragen mir erlaube, weil dieselben, wie mir scheint, zur Aufklärung der Art jenes eigen thümlichen Zusammenhanges zwischen Accommodation und Augenstellung wesentlich beitragen und zur weiteren Bestätigung meiner am Schlusse des Paragraphen über diesen Punkt ausgesprochenen Ansicht dienen dürften.

a) Mit der willkürlichen Vergrößerung des Convergenzwinkels der Sehaxen ist selbst dann eine Einstellung des Accommodationsapparates für die Nähe unabänderlich verknüpft, wenn die Augen bereits für einen näheren Punkt, als den Durchkreuzungspunkt der Sehaxen accommodirt sind.

Von der Richtigkeit dieser beachtenswerthen Thatsache kann man sich leicht überzeugen, wenn man den DONDERS'schen Versuch mit der Papierdüte anstellt, und sich bemüht die hinter der Buchfläche sich schneidenden Sehaxen durch willkürliche Vergrößerung des Convergenzwinkels auf oder in derselben zum Durchschneiden zu bringen. In Fig. 3 (Taf. 15) ist L das linke, R das rechte Auge, l und r sind ihre respectiven Drehpunkte, AB die in deutlicher Sehweite befindliche Buchfläche, und D die vor das linke Auge gehaltene Papierdüte. Die Sehaxen schneiden sich hinter der Buchfläche in C , während die Augen für die Entfernung der Druckschrift und nicht für die Entfernung des Punktes C accommodirt sind. Es findet hier also eine ungesetzmässige Combination zwischen Accommodation und Augenstellung statt, welche nur entweder durch Veränderung des Accommodationszustandes oder des Convergenzwinkels der Sehaxen corrigirt werden kann.

Wendet man das rechte Auge so weit nach innen, dass seine Sehaxe den vom linken Auge durch die Papierdüte hindurch fixirten Punkt m trifft, so sollte man erwarten, dass sich der Accommodationszustand der Augen nicht ändern werde, indem die falsche Augenstellung durch die willkürlich herbeigeführte Vergrößerung des Convergenzwinkels der Sehaxen corrigirt wird. Diese Erwartung wird jedoch — wie der Versuch lehrt — vollkommen getäuscht, denn während man den Convergenzwinkel der Sehaxen vergrössert, accommodiren sich die Augen für die Nähe, so zwar, dass wenn der Durchkreuzungspunkt der Sehaxen endlich mit dem Punkte m zusammenfällt, die Accommo-

dationspunkte der Augen mit den näher gelegenen Punkten *a* und *b* zusammenfallen und die Druckschrift wohl nicht mehr im Doppelbilde, dafür aber undeutlich, d. h. in Zerstreungskreisen erscheint. Die gesetzmässige Combination von Accommodation und Augenstellung bleibt also in ähnlicher Weise gestört, wie vor der beabsichtigten Correctionsbewegung, weil der Zusammenhang der Centren der beiden Functionen von der Art ist, dass sie in dieser Richtung durch den Willensimpuls nicht isolirt, sondern nur gemeinschaftlich erregt werden können.

b) Hält man die gewöhnliche Augenstellung, bei welcher *m* der Durchkreuzungspunkt der Sehaxen ist, fest und versucht die Augen, welche für die Entfernung der Punkte *a* und *b* eingestellt sind, für *m* zu accommodiren — wodurch das gesetzmässige Verhältniss zwischen Accommodation und Augenstellung herbeigeführt werden würde —, so wird die Correctionsbewegung um so mehr Mühe und Anstrengung kosten, je mehr das Gesichtsfeld des linken Auges durch die Papierdüte beschränkt ist, ja es wird bei jedem Versuche die Augen für *m* zu accommodiren, der Durchkreuzungspunkt der Sehaxen wieder hinter die Buchfläche *AB* fallen, d. h. die Correction wird gar nicht gelingen, wenn wegen der Kleinheit der Oeffnung der Papierdüte ein weiter unten hervorgehobener Umstand nicht eintreten kann, — und zwar aus demselben Grunde, welchen wir für die Fruchtlosigkeit der willkürlich eingeleiteten Correction der Augenstellung bei dem zuerst erörterten Versuche angegeben haben.

Aus den beiden Versuchen ersieht man, wie Recht ich hatte, VOLKMANN gegenüber zu behaupten: »Dass die Bewegungscentra für die verknüpften Thätigkeiten (bezüglich der angegebenen Combination derselben) in einem solchen organischen (anatomischen) Verhältnisse und Zusammenhange gedacht werden müssen, dass sich der Reiz, welchen der Wille auf das eine derselben ausübt, nothwendig auch auf das andere überträgt und daselbst ein bestimmtes Quantum Bewegung auslöst«.

c) Wenn man in dem sub *a* beschriebenen Versuche die DONDERS'sche Papierdüte weglässt, so tritt die Vergrößerung des Convergenzwinkels der Sehaxen ohne unser Zuthun¹⁾, durch die instinctive

¹ Ja man muss sich sogar jedes vehementeren befördernden Willenseinflusses enthalten, da sonst leicht auch hier die unter *a* und *b* erwähnte Uebertragung des Impulses auf beide Bewegungscentra sich einstellt und die Correction vereitelt.

Correction — und dann ohne eine Accommodationsbewegung für die Nähe — ein.

Hat man in dem sub b) mitgetheilten Versuche die Augenaxen durch willkürlichen Impuls in m zum Durchschneiden gebracht, wobei die Accommodationspunkte der Augen bis a und b (vgl. Fig. 3, Taf. 15) gerückt sind, und bemüht sich nun vergebens die Augen für m zu accommodiren, so wird man finden, dass sich diese Correction augenblicklich ohne unser Zuthun herstellt, wenn man die beschränkende Papierdüte rasch entfernt oder ihre vordere kleine Oeffnung beträchtlich vergrössert wird, weil die Correction nur durch die Doppelbilder — welche durch die feine Oeffnung der Papierdüte auf eine punktförmige Fläche beschränkt, bedeutungslos sind — ermöglicht und geleitet wird, indem dieselben in dem Maasse sich decken und deutlich gesehen werden, als die richtige Combination von Augenstellung und Accommodation zu Stande kommt. Dies ist nun der Umstand, auf welchen ich oben sub b) hingewiesen habe, ohne dessen Vorhandensein sich keine Correction einstellen kann.

d) Von welch bedeutendem Einflusse die instinctive Tendenz deutlich und einfach zu sehen auf die Verknüpfung und Combination eines bestimmten Accommodationszustandes der Augen mit einer bestimmten Stellung der Sehaxen ist, und dass die dieser Tendenz entsprechende instinctive Correction falscher Combinationen von Augenstellung und Accommodationszustand nur durch die Zerstreungskreise und Doppelbilder, welche die falschen Combinationen setzen, ermöglicht und geleitet wird — etwa so, wie wir durch gewisse Empfindungen geleitet werden, unbewusst zweckmässige Bewegungen zur Erhaltung des Gleichgewichtes auszuführen — ersieht man mit Sicherheit aus folgenden zwei Reihen von Versuchen.

Zu der einen Reihe zählen die Versuche, in welchen wir die Augen unter solche Verhältnisse bringen, dass die beiden leitenden Momente der corrigirenden Thätigkeit nicht in Wirksamkeit treten können, und deren gemeinsames Resultat darin besteht, dass die sonst gewohnten, gesetz- und zweckmässigen Combinationen von Accommodationszustand und Augenstellung nicht zu Stande kommen.

Während die andere Reihe Versuche enthält, welche — da beide leitenden Momente in voller Wirksamkeit sind — das übereinstimmende Resultat geben, dass allerdings innerhalb gewisser Grenzen selbst ungewohnte, und dem gewöhnlichen Combinationsgesetze widersprechende Combinationen beider Functionen, welche zum Theil (vgl. oben A 2 und B 2) durch willkürliche Trennung des

Zusammenhanges der Accommodations- und Augenbewegungen durchaus nicht oder nur in ungleich geringerem Grade zu erzwingen sind, — in Erscheinung treten.

1. Zu den Versuchen der ersten Reihe rechne ich :

α. die oben sub a) und b) mitgetheilten Versuche, wo das Gesichtsfeld des Einen Auges durch die feine Oeffnung in der Spitze der Papierdüte beschränkt wird, ferner

β. die Schliessung oder blosse Bedeckung des Einen Auges, in Folge deren die Stellung der Augen bei gleichbleibendem oder wenig verändertem Accommodationszustande — selbst wenn man sich bemüht hat die richtige Stellung festzuhalten — dermaassen verändert, so zu sagen desorientirt wird, dass nach Oeffnung oder Aufdeckung des geschlossen oder bedeckt gewesenen Auges der Durchkreuzungspunkt der Sehaxen mehr oder weniger weit hinter den Accommodationspunkten, d. h. jenseits derselben, gefunden wird.

2. Zu den Versuchen der zweiten Reihe sind zu zählen :

α. die Versuche mit concaven und convexen Brillengläsern (DON-
DERS)¹).

β. das Stereoskopiren mit rechtseitigen und verkehrten Doppel-
bildern im freien Sehen²;

γ. das Stereoskopiren durch die verschiedenen gebräuchlichen Stereoskope. Ich habe nämlich die meines Wissens bisher noch von Niemandem hervorgehobene Bemerkung gemacht, dass alle, wie immer (mit Linsen, Prismen oder Spiegeln) construirten Stereoskope eine Trennung der gewöhnlichen Combinationen von Accommodationszustand und Stellung der Augen verlangen, selbst dann, wenn das stereoskopische Bild bei einem bestimmten Convergenzwinkel der Sehaxen mit dem legitim zu diesem Winkel gehörigen Accommodationszustande gesehen werden kann, was sogleich deutlich ist, wenn man erwägt, dass die beiden Bilder des Gegenstandes ebene Zeichnungen sind, welche bei wechselndem Convergenzwinkel einen nahezu gleichbleibenden, für die Entfernung der Bildebene passenden Accommodationszustand nöthig machen.

Ich sagte »nahezu gleichbleibenden Accommodationszustand«, weil dies streng genommen nicht der Fall ist, wie sich aus der Betrachtung der Fig. 4 (Taf. 15) ergibt, welche ein WHEATSTONE'Sches Spie-

¹ DONDERS: Ned. Lancet 2. Serie, 2. Jaarg., S. 156.

² Vergl. H. MAYER: Pogg. Annal. Bd. LXXXV, Seite 189, und besonders auch G. MEISSNER a. a. O., Seite 117.

gelstereoskop darstellt, obschon Differenzen, wie die zwischen aA'' und $a'B''$ (namentlich wenn die Bilder klein und mehre Zolle von den Spiegeln entfernt sind) allerdings gänzlich vernachlässigt werden können.

Beiläufig erlaube ich mir noch anzumerken, dass die erörterten Verhältnisse einen nicht unwesentlichen Unterschied zwischen dem Sehen wirklicher Körper und dem Stereoskopiren durch stereoskopische Apparate begründen, welcher, wie mir scheint, erklärt, warum uns die plastischen Bilder (namentlich Landschaften) im Stereoskope mit ungewohnter, ich möchte sagen unnatürlicher Klarheit und Schärfe entgegentreten, und dann, warum das Stereoskopiren durch Stereoskope eine fühlbare Anstrengung, welcher auch wohl Ermüdung folgt, kostet, während wir unter übrigens gleichen Umständen beim Betrachten wirklicher, nach drei Dimensionen des Raumes ausgedehnter Körper nichts von diesen Folgen spüren.

δ. Hierher gehört endlich auch das, was ich oben über das Sehen der Punkte des MÜLLER'schen Horopterkreises gesagt habe.

e) Meine am Ende vorstehender Abhandlung angedeutete Ansicht über die Art der Verknüpfung der Accommodations- und Convergenzbewegungen will ich nun etwas ausführlicher und bestimmter behandeln, mit Beziehung auf die von R. WAGNER angebahnte, auf mikrotomischer Basis ruhende Innervations-Theorie, welche mir bereits seit geraumer Zeit durch meinen hochverehrten Lehrer Prof. PURKYNĚ bekannt und geläufig ist¹).

¹ PURKYNĚ trägt sich nämlich schon seit der durch ihn gemachten Entdeckung der mehrfach geschwänzten Ganglienzellen der grauen Substanz mit ganz ähnlichen hypothetischen Ideen über die Innervations-Erscheinungen in den Centralorganen, wie solche in jüngster Zeit R. WAGNER nach so manchen neuen, ermunternden, mikroskopisch-anatomischen Thatsachen, welche PURKYNĚ damals nur erst ahnen konnte, ausgesprochen hat. Ja PURKYNĚ theilt schon seit Jahren diese Ideen in seinen Vorlesungen den Zuhörern mit. Durch vorliegende Anmerkung können und sollen R. WAGNER's grosse Verdienste um die Gestaltung einer exacteren Nervenphysiologie durchaus nicht geschmälert werden. Die Absicht meiner Mittheilung ist nur die, hier an den Mann zu erinnern, in dessen auserwähltem, durchaus ursprünglichem Geiste schon so mancher folgenreiche Gedanke aufgegangen war, der wie im vorliegenden Falle, erst später an anderen Orten, von anderen Händen zur Reife gebracht wurde. So hatte PURKYNĚ lange vor SCHWANN die Grundzüge der Zellentheorie erfasst und in aller Stille für sich und seine Freunde und Schüler bearbeitet, allein der kühnere und weniger zurückhaltende SCHWANN hat, wie PURKYNĚ in einer Besprechung der SCHWANN'schen Untersuchungen scherzweise sich ausdrückte, die Braut, die er (PURKYNĚ) längst kannte und um die er schon lange warb, heimgeführt. Obschon es keinem Zweifel unterliegt, dass PURKYNĚ sowohl die Innervations- als die Zellentheorie weit früher als WAGNER und SCHWANN erfasst und aufgebaut hat, so kann doch diese

Vorher erlaube ich mir die Stelle aus R. WAGNER's neurologischen Untersuchungen zu citiren, welche sich auf die sogenannten Mitbewegungen bezieht.

R. WAGNER sagt¹⁾: »Ich nehme zwei Classen von Mitbewegungen an: 1) Solche, welche angeboren und durch einen unabänderlichen Mechanismus das ganze Leben auf eine nicht zu beseitigende dem Zwecke der Functionen dienende Weise mit anderen automatischen oder intendirten Bewegungen zwangsmässig verbunden sind. Dahin rechne ich z. B. die Contraction der Pupille bei kräftiger Zusammenziehung der *Mm. recti interni* in der Convergenzstellung beider Augenaxen beim Nahesehen. Ich erkläre dies aus einer anastomotischen Verbindung der multipolaren Ganglienzellen im Kerne des *Nerv. oculomotorius* unterhalb der Sylvischen Wasserleitung, welche die Ursprungsfasern des *M. rectus internus* abgeben, mit anderen Ganglienzellen, aus denen die Sphincterenmuskelfasern der Iris ihre Nerven erhalten²⁾. 2) Zur zweiten Classe von Mitbewegungen rechne ich diejenigen, höchst zahlreichen, welche sich durch Uebung beseitigen lassen, z. B. die bei intendirten Bewegungen einzelner Finger wider den Willen miterfolgenden Bewegungen anderer Finger. Hier tritt die allbekannte Erfahrung auf, dass in Folge vielfältiger Uebung alle isolirten Erregungen einzelner Muskeln und Muskelapparate uns allmählich leichter werden, daher denn auch Kinder noch mit vielen Mitbewegungen behaftet sind, welche Erwachsene längst unbemerkt beseitigt haben. Eine Erklärung dafür ist nach meiner Annahme zahlreicher anastomotischen Verbindungen zwischen den die einzelnen Muskeln beherrschenden multipolaren Ganglienzellen leicht.«

Thatsache keine Bedeutung für die Prioritätsfrage gewinnen, da PURKYNÈ die Mühe gescheut hat, seine längst gehegten Ideen der Oeffentlichkeit zu übergeben.

Ich aber glaubte nichts destoweniger — als Jünger dieses Meisters — die Verpflichtung zu haben, den mitgetheilten Sachverhalt, wenn auch nur gleichsam als biographische Notiz, zur Sprache zu bringen.

¹ Nachrichten v. d. G. A. Universität und der k. Gesellschaft d. Wissensch. zu Göttingen. 6. März 1854, Nr. 26, S. 98.

² »Dass ich die im Bezirke der Hirnnerven, z. B. in der Region der Sinnesnerven vorkommenden Bewegungen meinem Systeme von multipolaren Ganglienzellen unterordne und im Wesentlichen dieselben Bedingungen, wie im Rückenmarke anzunehmen geneigt bin, habe ich schon in meiner letzten Mittheilung »über die Elementarorganisation des Gehirnes« erwähnt. Wem für die Sinnesnerven, wie namentlich für Seh- und Hörnerven die Annahme eigener excitomotorischer Fasern noch bedenklicher erscheinen mag, als für die Rückenmarksnerven, dem möchte ich entgegen, dass gewiss ein Theil der Reflexbewegungen, welche man sich durch die Fasern der Sinnesnerven vermittelt denkt, den excitirenden Fasern des Trigeminus und Vagus zukommt . . .«

»Die Willensimpulse werden nach dem einfachen Gesetze der Uebung und Gewohnheit, die zur Realisirung ihrer Zwecke nöthigen Bahnen schon finden lassen. Dies kann unmöglich für einen so fein gegliederten und seiner Seele im normalen Zustande so dienstbaren Organismus schwer fallen, welcher im Stande ist, beim Gesang die feinsten Spannungsverhältnisse zu empfinden und für das Bedürfniss der Modulationen seiner Stimme abzuändern, ohne dazu der anatomischen Kenntnisse zu bedürfen«.

Die Art der Verknüpfung der Accommodations- und Augenbewegungen, wie wir dieselbe durch die mitgetheilten Versuche genauer kennen gelernt haben, passt vollständig weder in die eine, noch in die andere Classe von Mitbewegungen, welche WAGNER aufgestellt hat. Die Verhältnisse sind in unserem Falle so complicirt, dass wir die charakteristischen Merkmale beider Classen von Mitbewegungen vorfinden:

α) Nach meinen bisherigen Erfahrungen sind die willkürliche Erregung einer Convergenzbewegung der Augen mit einer Accommodationsbewegung für die Nähe, und eine willkürliche Erregung einer Accommodationsbewegung für die Ferne mit einer relativen Divergenzbewegung der Augen zwangsmässig verbunden, so dass diese beiden Bewegungen zu den Mitbewegungen der ersten Classe gehören.

[Innerhalb sehr enggesteckter Grenzen gehören auch diese Mitbewegungen für manche Individuen, wie mir COCCUS in Leipzig mitgetheilt hat, in die zweite Classe. Mag dem sein wie ihm wolle, der von mir aufgedeckte Unterschied der Innigkeit des Verbandes, welcher diese Bewegungen verknüpft, und des Verbandes, welcher die sub β angeführten Bewegungen zusammenkettet, bleibt zu Recht bestehen.]

β) Während die Mitbewegungen, welche durch die willkürliche Erregung einer relativen Divergenzbewegung der Sehaxen oder einer Accommodationsbewegung für die Nähe gewöhnlich ausgelöst werden, zu den Mitbewegungen der zweiten Classe zu zählen sind, weil dieselben, wie ich gezeigt habe, durch Uebung innerhalb gewisser Grenzen zu beseitigen sind.

γ) Ferner sind die Bewegungscentra beider Functionen, ebenfalls innerhalb bestimmter Grenzen, in Folge unbewusster, instinctiver Erregung einer isolirten Thätigkeit fähig.¹⁾

Hiernach werden wir sehr verschiedene Innervations-

¹ Vergl. oben sub d).

bahnen zur Erklärung dieser eigenthümlich verknüpften Bewegungen annehmen müssen. Versuchen wir, eingehend auf die WAGNER'sche Hypothese, uns eine bestimmte Vorstellung darüber zu bilden, so werden wir hinsichtlich der sub α betrachteten willkürlichen Erregungen eine anastomotische Verbindung der multipolaren Ganglienzellen im Kerne des *N. oculomotorius*, welche die Ursprungsfasern des *M. rectus internus* abgeben, mit anderen Ganglienzellen, aus denen der Accommodationsapparat, welcher die Adaption für die Nähe besorgt, seine Bewegungsnerven erhält — und ferner eine anastomotische Verbindung der Ganglienzellen des Centralorganes für die Accommodationsbewegungen, welche die Adaption für die Ferne vermitteln, mit anderen Ganglienzellen, von welchen die Fasern für den *M. rectus externus* und die anderen Auswärtsroller der Augen entspringen, annehmen müssen.

Hinsichtlich der sub β erörterten willkürlichen Impulse, welche in Folge vielfältiger Uebung die Centra der beiden Functionen innerhalb gewisser Grenzen isolirt erregen können, werden wir mit WAGNER die Annahme »zahlreicher anastomotischer Verbindungen zwischen den die einzelnen Muskeln (gewisse Augen- und Accommodationsmuskeln) beherrschenden multipolaren Ganglienzellen« machen. Durch die Annahme mehr oder weniger zahlreicher Anastomosen zwischen den Ganglienzellen würde also nach WAGNER's Vorstellungen zu erklären sein, warum die Uebertragung eines willkürlichen Impulses von einem Centrum auf das andere, in dem ersten Falle (sub α), bei weniger Anastomosen, schwerer, als im zweiten Falle (sub β), bei zahlreicherer anastomotischer Verbindung, verhindert werden können. Vielleicht erscheint es Manchem plausibler die Annahme umzukehren und den innigeren Verband durch mehr, den lösbareren Verband hingegen durch weniger Anastomosen zu erklären. Hier hat die Phantasie noch ganz freien Spielraum.

Was endlich die sub γ betrachteten isolirten Erregungen der Centra der beiden Functionen durch unwillkürliche, instinctive Impulse betrifft, so möchte man, wie mir scheint, beinahe zur Staturung excitirender Fasern geneigt sein, deren peripherische Enden entweder in die Retina oder in den Theil des Sensoriums, in welchem die Gesichtsvorstellungen zu Stande kommen, und deren centrale Enden in gewisse Ganglienzellen der beiden Centra zu verlegen wären.

Dass die isolirte Thätigkeit der Centra der beiden Functionen in Folge der instinctiven und der willkürlichen Impulse nur innerhalb gewisser Grenzen, d. h. nur bis zu einer limitirten

Grösse der ausgelösten Bewegungen, möglich ist, dürfte sich aus der für grössere Bewegungen benötigten grösseren Intensität des Impulses und dem dadurch bedingten grösseren Erregungsbezirke erklären lassen. Hierauf deutet schon WAGNER, indem er sagt¹⁾: »Nehme ich die multipolaren Ganglienzellen als Knotenpunkte für Innervationsprocesse an, so liegt allerdings eine Schwierigkeit darinnen, zu erklären, warum die Erregungen von einer Faser bald in der ersten Zelle ruhen bleiben, bald auf benachbarte oder entferntere, oft sehr viele Zellen und die von denselben abgehenden Commissuren und Fasern übergehen. Dies kann nun möglicher Weise theils von der Intensität der Reize, theils von der ganzen Stimmung der multipolaren Ganglienzellen, die jedenfalls variabel ist — z. B. abhängig von der Blutzufuhr, von specifischen Reizmitteln, wie Strychnin u. s. w. herrühren.«

Man könnte hier auch an eine Verschiedenheit der Impulse und Innervationsprocesse denken, welche etwa der Verschiedenheit zwischen gewöhnlichen und polarisirten Lichtstrahlen analog wäre. Nähme man dann noch in dem Inhalte der Nervenzellen und Fäden gewisse den Elasticitätsunterschieden des Lichtäthers in doppeltbrechenden Substanzen analoge Veränderungen an, so liesse sich begreifen, warum die Erregungen bald in den ersten Zellen liegen bleiben müssen, bald auf mehrere Zellen u. s. w. übergehen.

Um etwaigen Missverständnissen vorzubeugen, erkläre ich schliesslich erstens, dass ich die oben aufgestellte Hypothese für nichts weiter ausbebe und angesehen wissen will, als für einen anspruchslosen Versuch die in Folge des eigenthümlichen Zusammenhanges zwischen den Accommodations- und Augenbewegungen zu beobachtenden Erscheinungen mit einer bestimmteren Vorstellung von der anatomischen Anordnung der Innervationsbahnen in Beziehung zu bringen, — und zweitens, dass ich, trotz des Eingehens auf R. WAGNER's Innervationstheorie, doch weit entfernt bin, seine sonstigen Ansichten über die Function der Centralorgane, wie sie dieser Physiologe in dem zweiten Theile seines anthropologischen Vortrages über »Menschenschöpfung und Seelensubstanz« Göttingen, G. Wiegand 1854, auszusprechen den Muth hatte, zu theilen oder gutzuheissen.

f) In der vorstehenden Abhandlung habe ich nachgewiesen, dass man im Stande sei die Augenaxen willkürlich zur Divergenz zu bringen, zugleich aber irrthümlich bemerkt, dass dies, wenn der Gegenstand, dessen Auseinandertreten in Doppelbilder als Maass der

¹ A. a. O., S. 93.

Divergenz dient und für den die Augen accommodirt bleiben, näher liege, leichter gelinge — im entgegengesetzten Falle dagegen schwerer. Ich berichtige hiermit diesen Irrthum dahin, dass es wohl schwieriger sei, einen entfernten Gegenstand in verkehrte Doppelbilder auseinander treten zu lassen, als einen näheren, dass aber, wenn dies einmal gelungen ist, die Divergenzstellung der Augenaxen bei Fixirung eines entfernten Gegenstandes leichter zu erzwingen sei, als bei Fixirung eines näheren.

Auch nehme ich die Gründe, durch die ich den berichtigten Irrthum zu stützen glaubte, als falsch zurück, halte aber die von mir gemachte Beobachtung mit aller Bestimmtheit fest, dass man durch Uebung in den Stand gesetzt werde, die Augenaxen willkürlich und im freien Sehen divergiren zu lassen, und ferner, dass man auf die von mir angegebene Weise die Grösse des Divergenzwinkels messen könne u. s. w.

Beiläufig führe ich hier an, dass TURTUAL, obschon er noch keine Ahnung davon hatte, dass man die Augenaxen willkürlich divergent stellen könne, doch bereits erkannt hatte, dass die Augenaxen unter gewissen ungewöhnlichen Umständen in Divergenz gerathen. TURTUAL¹⁾ sagt nämlich: »Beim Sehen nach dem Monde ist wegen der grossen Entfernung der Stand der Sehaxen als parallel anzunehmen; dennoch erscheint nach Befreiung des verdeckten linken Auges anfänglich rechts ein Nebenmond, die Convergenz jenseits des Objectes ist also hier in eine Divergenz der Axen übergegangen.« — Noch wäre hier an eine Arbeit H. MEYER'S²⁾ in Zürich zu erinnern, in welcher bereits die mögliche Divergenz der Augenaxen untersucht und mittelst des Stereoskopes demonstrirt wurde.

¹ Die Dimension der Tiefe im freien Sehen und im stereoskopischen Bilde. Münster 1842, S. 11.

² Pogg. Annal. Bd. 85, 1852, S. 207.